

«YGEC '92»: Sesta Conferenza Europea dei Giovani Ingegneri Geotecnici

G. GOTTARDI, T. ROTONDA, G. URCIUOLI*

SOMMARIO. Si è svolta a Lisbona nel mese di maggio 1992 l'annuale Conferenza Europea dei «Giovani Ingegneri Geotecnici», giunta ormai alla sua sesta edizione; un'esperienza molto interessante per tutti i partecipanti, dal punto di vista scientifico ed umano. La formula organizzativa favorisce i contatti fra i giovani ingegneri, creando la possibilità di instaurare utili collegamenti internazionali. In questo articolo, dopo una breve presentazione del convegno, sono riassunte le note presentate; di queste Conferenze, infatti, non vengono pubblicati atti.

1. Introduzione

La sesta Conferenza Europea dei «Giovani Ingegneri Geotecnici» (YGEC '92) si è tenuta a Lisbona dal 4 all'8 maggio 1992. La manifestazione è stata organizzata da una commissione composta da docenti di Geotecnica delle Università di Lisbona ed Oporto e da ricercatori del *Laboratorio Nacional de Engenharia Civil* (LNEC), una struttura di ricerca afferente al Ministero dei Lavori Pubblici portoghese. La manifestazione è stata patrocinata dall'*International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering* e dalla *Sociedade Portuguesa de Geotecnia*. La commissione organizzatrice è stata presieduta dall'ing. E. Maranha das Neves, direttore della sezione geotecnica del LNEC.

Alla Conferenza hanno partecipato trenta giovani ingegneri, provenienti da diciassette paesi europei (Fig. 1); essi sono stati designati dalle rispettive Associazioni nazionali fra coloro che sono impegnati

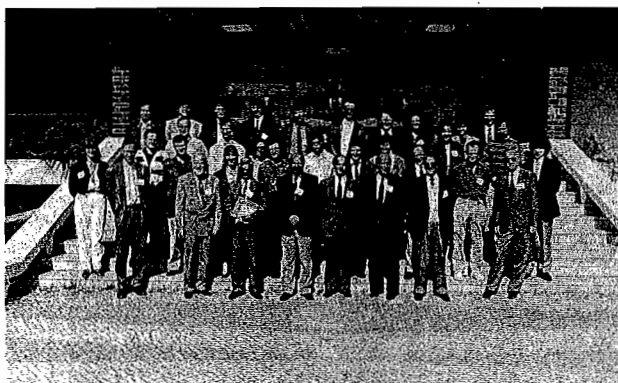


Fig. 1 - I partecipanti a YGEC '92.

* Dott. ing. Guido GOTTARDI, Istituto di Costruzioni Marittime e di Geotecnica, Università di Padova (autore dei paragrafi 3.3, 3.4 e 3.5). Dott. ing. Tatiana ROTONDA, Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica, Università di Roma «La Sapienza» (autore dei paragrafi 3.1 e 3.2). Dott. ing. Gianfranco URCIUOLI, Istituto di Tecnica delle Fondazioni e Costruzioni in Terra, Università di Napoli Federico II (autore dei capitoli 1 e 2 e del paragrafo 3.6).

in attività di ricerca o professionali; questi ultimi erano presenti in percentuale non trascurabile, almeno per quanto riguarda i paesi del Nord Europa ed anglosassoni.

Erano presenti fino a tre partecipanti per ciascun paese, compresi quasi tutti gli stati dell'Europa orientale (ad eccezione delle repubbliche dell'ex-URSS).

I lavori sono stati organizzati in sei sessioni presiedute da altrettanti ingegneri geotecnici «senior» di chiara fama: i proff. U. Smolczyk (Germania, vice Presidente dell'ISSMFE per l'Europa e responsabile del comitato organizzatore della prossima edizione della conferenza che si svolgerà a Stoccarda nel settembre 1993), J. Salençon (Francia), N.K. Ovesen (Danimarca), N. Pande (Regno Unito), W. Sadgorski (Germania) ed E. Maranha das Neves (Portogallo).

Il tema della Conferenza «Improving safety and serviceability of geotechnical structures» era abbastanza ampio; è tradizione di queste Conferenze, infatti, consentire la presentazione di contributi non strettamente afferenti ad una problematica specifica.

Ciascun conferenziere ha consegnato alla Commissione Organizzatrice la sintesi dattiloscritta del proprio intervento, che è stata successivamente distribuita in copia fra i partecipanti; non è prevista la stampa degli atti.

2. L'organizzazione e le attività sociali

La Conferenza si è svolta presso la sede del LNEC, nella verde periferia di Lisbona, e tutti i partecipanti sono stati ospitati in uno stesso albergo, nel centro della città. Questa scelta ha dato loro la possibilità di incontrarsi spesso, scambiare opinioni, discutere, e soprattutto instaurare utili collegamenti internazionali.

I lavori sono stati arricchiti da numerosi momenti

di socializzazione e da due interessanti visite tecniche; la prima sulla costa atlantica nei pressi di Lisbona (Estoril), dove era in costruzione un imponente depuratore che tratterà gli scarichi dell'area metropolitana di Lisbona, convogliandoli in mare lontano dalla costa, attraverso una galleria sottomarina. La seconda visita tecnica è stata effettuata nella provincia dell'Algarve, nel sud del paese, dove era in corso la riattazione di un antico ponte romano (nella città di Tavira) con un fitto reticolo di micropali, soluzione forse non sufficientemente rispettosa della statica originaria dell'opera e della sua rappresentatività storica.

La costa dell'Algarve, il paradiso balneare del Portogallo, nota per il suo clima mite anche nei mesi primaverili ed invernali, ha subito una edificazione non pianificata, intesa ad aumentarne la ricettività turistica: sono così nate intere città costituite esclusivamente da alberghi.

Sulla via del ritorno è stato possibile visitare l'Università di Evora, un'antica e suggestiva città interna del Portogallo, ricca di monumenti e testimonianze di indubbio interesse storico. La stessa Università è sita in un antico edificio che merita di essere visitato.

Fra gli *happening* organizzati è piacevole ricordare l'ospitalità di due tipici ristoranti che servivano piatti locali a base di pesce (zuppa, alla griglia,..) ed il ricevimento ufficiale nel suggestivo castello di S. Giorgio (da cui si domina l'intera città di Lisbona), di proprietà dell'Amministrazione Comunale, dove è stato rappresentato uno spettacolo canoro folkloristico (il fado).

Il clima di amicizia che si è instaurato durante i giorni della manifestazione ha lasciato fra i partecipanti un piacevole ricordo e la soddisfazione di aver vissuto un'esperienza importante. Il merito è stato sicuramente della formula organizzativa, ma anche e soprattutto della cordialità e dell'ospitalità degli organizzatori.

3. La presentazione dei contributi

I lavori sono stati organizzati in sei sessioni tecniche ognuna presieduta da uno degli ingegneri geotecnici senior intervenuti alla manifestazione. I temi erano i seguenti:

- I: scavi, gallerie ed opere di sostegno;
- II: fondazioni profonde e miglioramento dei terreni;
- III: fondazioni superficiali;
- IV: caratterizzazione di materiali geotecnici;
- V: filtrazione;
- VI: rilevati, dighe e pendii.

Ciascuna sessione ha impegnato circa mezza gior-

nata di lavoro, durante la quale ogni partecipante ha presentato la propria comunicazione, seguita da un'ampia discussione.

Gli interventi dei giovani ricercatori sono stati accompagnati da due conferenze tenute dal prof. J. Salençon che ha presentato uno studio sul carico limite delle fondazioni superficiali soggette a carichi inclinati ed eccentrici e dal prof. N.K. Ovesen che ha illustrato lo stato dei lavori della Commissione Eurocodice 7 (Geotecnica).

3.1. Scavi, gallerie ed opere di sostegno

La Conferenza si è aperta con la sessione tecnica, coordinata dal prof. N. Pande, riguardante scavi, gallerie e strutture di sostegno.

La valutazione degli spostamenti verticali sul fondo di una trincea scavata per la costruzione della metropolitana di Sofia è stato oggetto del primo intervento, presentato dalla ricercatrice bulgara A. Bozhinova. Gli spostamenti verticali sul fondo dello scavo, effettuato in sabbie ed argille rigonfianti, sono stati calcolati tramite espressioni empiriche come somma di contributi derivanti dalle deformazioni elastiche degli strati. La possibilità di utilizzare il metodo a fini previsionali viene suggerita dalla buona rispondenza tra valori osservati con misure geodetiche e valori calcolati.

Da un approccio di tipo analitico si passa ad un approccio di tipo numerico per entrambi gli interventi successivi, con applicazioni della teoria degli elementi finiti allo studio di scavi in sottoterraneo.

L'analisi della interazione roccia-rivestimento per una galleria circolare posta a grande profondità è alla base della applicazione numerica, condotta con un codice di calcolo bidimensionale (assial-simmetrico), sviluppata da D. Bernaud (Francia). L'ammasso roccioso è stato idealizzato come isotropo, caratterizzato da incompressibilità volumica e da un comportamento elasto-viscoplastico; il criterio di resistenza adottato è quello di Von Mises con legge di flusso associata. Una serie di analisi parametriche hanno permesso di evidenziare l'importanza della velocità di avanzamento del fronte, del comportamento meccanico del rivestimento e delle fasi di avanzamento e posa in opera del rivestimento. Da tali applicazioni sono stati ricavati numerosi abachi.

Una diversa applicazione dello stesso codice di calcolo riguarda lo studio del comportamento non lineare di un tipo di rivestimento che viene applicato a breve distanza dal fronte: le centine scorrevoli a 4 conci. È stata eseguita una analisi piana in cui la posa in opera del rivestimento viene simulata applicando una pressione fittizia interna alla galleria, ricavata in base alle misure di convergenza effettuate.

I risultati, in termini di sforzo circonferenziale medio nel rivestimento e scorrimento delle centine, al procedere dello scavo e della convergenza sono stati confrontati con le misure effettuate su alcune sezioni della galleria.

Una nota interessante, parte di una ricerca svolta all'Istituto di Statica di Francoforte, è stata presentata da S. Kielbassa (Germania); essa riguarda l'analisi di stabilità, effettuata con un codice di calcolo agli elementi finiti tridimensionale, di uno scavo sotterraneo in argilla sotto falda. Il modello numerico adottato è molto complesso ed è in grado di risolvere problemi accoppiati sforzo-deformazione e flusso-pressione interstiziale, secondo una legge di comportamento del materiale tipo Cam-Clay (modello ad incrudimento cinematico) e legge di flusso non associata.

Lo scavo di una lunga caverna è stato analizzato sia con un'analisi a deformazione piana, sia con un'analisi tridimensionale. Nella nota viene discusso il caso dello scavo istantaneo in terreno asciutto, confrontando i diversi risultati che si ottengono nell'ipotesi di comportamento del materiale lineare e non. Nel caso di terreno saturo il calcolo viene eseguito in fasi successive (lo scavo costituisce la prima fase) per poter seguire l'evoluzione della pressione interstiziale nel mezzo; in queste analisi viene messa in evidenza la forte influenza che le condizioni idrauliche hanno sul valore dello spostamento radiale in galleria.

Per portare in conto l'effetto del fronte vengono riportati i risultati di una analisi 3D, presentati in termini di deformazione nella zona del fronte e di andamenti della pressione interstiziale e degli spostamenti nel tempo al procedere dello scavo; questi risultati sono confrontati con quelli relativi al caso di terreno asciutto.

3.2. Fondazioni profonde e miglioramento dei terreni

Nella seconda sessione tecnica, coordinata dal prof. W. Sadgorski, sono stati presentati alcuni interventi riguardanti le fondazioni profonde ed il miglioramento dei terreni di fondazione.

La nota presentata da P. Gilles, ricercatore presso l'Università Cattolica di Louvain (Belgio), è frutto di una ricerca svolta in collaborazione con una ditta che esegue prove su pali di fondazione.

La nota offre una panoramica dei metodi di controllo usualmente condotti sui pali di fondazione. Vengono brevemente discussi i campi di applicazione e i risultati ottenibili da quei tipi di prove che vengono utilizzate per individuare la lunghezza del palo, la eventuale presenza di macrofratture e la qualità del calcestruzzo.

Le prove di carico permettono invece di descrivere l'andamento carico-cedimento del palo e di ricavare anche il valore del carico ultimo. Usualmente si distinguono due tipi di prove di carico: statiche e dinamiche. La nota descrive sinteticamente le procedure d'uso delle prove statiche per poi passare ad un esame più dettagliato delle prove di carico dinamiche. La prova dinamica su palo recentemente messa a punto dal gruppo di ricerca permette di ricavare l'andamento carico-cedimento di tipo statico, ovvero di descrivere la distribuzione della resistenza laterale lungo il palo e la resistenza alla base in funzione del carico applicato. Vengono discussi sia gli aspetti teorici che applicativi di tale prova e riportati i risultati ottenuti in un caso reale.

In relazione alle fondazioni profonde la ricercatrice danese T. Feld ha riportato i risultati di una sperimentazione su modello in centrifuga effettuata in collaborazione con l'Università della Florida (USA). Lo scopo della ricerca è stato quello di investigare il comportamento di gruppi di pali infissi in sabbia attraverso l'analisi degli andamenti carichi-cedimenti. Durante la sperimentazione sono state condotte prove in centrifuga su singoli pali e su gruppi di pali diversamente spazati, caricati fino a rottura. I valori del coefficiente di efficienza di gruppi di pali, definito dal rapporto tra il carico ultimo del singolo palo e quello del gruppo di pali, sono risultati inferiori all'unità con un gradiente positivo all'aumentare del rapporto tra la spaziatura e il diametro (Fig. 2). I risultati sperimentali sono stati confrontati con un modello numerico anch'esso messo a punto nella stessa Università della Florida.

Il comportamento dei pali infissi in sabbia è stato indagato tramite la misura di alcune grandezze, sia durante la fase di infissione, sia nel corso di prove di carico, dal ricercatore irlandese presso l'Imperial College di Londra B. Lehane. Ogni palo è stato strumentato in tre diverse sezioni con una cella di ca-

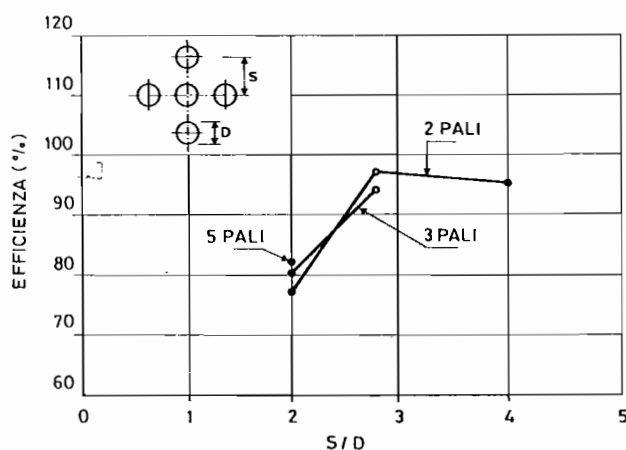


Fig. 2 - Efficienza di un gruppo di pali fondati in sabbia ricavati da una sperimentazione in centrifuga al variare del rapporto tra la spaziatura e il diametro del palo [FELD].

rico, due piezometri e trasduttori di superficie per la misura dello sforzo radiale e dello sforzo di taglio longitudinale. Inoltre, alla testa sono stati posizionati una cella di carico e tre trasduttori di spostamento. La nota riporta come esempio alcuni dei risultati delle misure di sforzo radiale e tangenziale lungo il fusto; l'andamento dello sforzo radiale è risultato simile, ma con valori di due ordini di grandezza inferiori, a quello rilevato dal CPT, mentre l'andamento dello sforzo di taglio è risultato lineare fino ad una certa profondità per poi mantenersi all'incirca costante (Fig. 3). Infine, vengono discussi i risultati di prove di carico a rottura, condotte su pali in condizioni di compressione e di trazione.

Un esempio di applicazione di un vibrocompattatore su un terreno sabbioso è stato presentato da E. Peterson. Si tratta di un apparecchio, messo a punto in Svezia, che ha permesso di ottenere ottimi risultati nel sito in esame. Nella nota vengono riportati e discussi i risultati delle misure.

La sessione si è conclusa con l'intervento di T. Rontonda (Italia) su un esempio di applicazione di una procedura a ritroso per la individuazione della deformabilità di ammassi rocciosi. La nota riporta l'analisi effettuata a partire da misure di spostamento ottenute in una diga durante 9 anni di esercizio dell'invaso. I dati di misura (spostamenti e pressioni nei pori), tramite un procedimento statistico, vengono scomposti secondo diversi contributi derivanti dalla variazione del livello di invasore, dalla variazione termica e da un comportamento reologico della struttura e dell'ammasso. La componente di spostamento legata al livello di invasore viene confrontata con i risultati di una analisi deterministica (agli elementi finiti) per ottenere poi, mediante una analisi di regressione, la migliore stima del modulo elastico della roccia di fondazione. I risultati ottenuti in un concio

della diga del Passante (Calabria) vengono commentati in modo critico.

La prima giornata di esposizione delle memorie e dibattiti si è conclusa con la interessante conferenza tenuta dal prof. J. Salençon che ha avuto per oggetto lo studio teorico della capacità portante di fondazioni superficiali sollecitate da carichi inclinati ed eccentrici. Lo studio si colloca nell'ambito di una ricerca più generale riguardante la capacità portante di fondazioni superficiali sottoposte a sollecitazioni sismiche.

3.3. Fondazioni superficiali

La sessione tecnica sulle fondazioni superficiali, presieduta dal prof. J. Salençon, è stata introdotta dall'austriaco W. Liebl che ha sottolineato i particolari problemi che possono interessare le fondazioni nelle immediate vicinanze di edifici preesistenti, soprattutto se quest'ultimi rivestono uno speciale valore storico-culturale.

Liebl ha così illustrato il caso dell'antico monastero di Schlierbach (Austria), la cui stabilità è stata gravemente compromessa dagli adiacenti lavori di fondazione di una palestra. Il progetto originario prevedeva l'esecuzione di 48 pali trivellati, di diametro 900 mm, a ridosso delle fondazioni dell'antico edificio e di un intervento di stabilizzazione mediante *jet-grouting*. Solamente in un secondo momento e dopo un'accurata indagine geotecnica del sottosuolo sono state apportate quelle modifiche progettuali e sono stati adottati quei dispositivi di controllo e verifica degli interventi di consolidamento che hanno consentito di portare a termine la costruzione della palestra senza ulteriori rischi per il monastero.

La vasta problematica della valutazione della sicurezza nei problemi di ingegneria geotecnica e della validità dei criteri di progettazione che fanno capo, mediante un approccio di tipo semiprobabilistico, all'analisi degli stati limite è stato un argomento molto dibattuto in seno alla Conferenza, grazie anche all'intervento del prof. N.K. Ovesen che, in qualità di Presidente del Comitato per la redazione della bozza di Eurocodice EC7, ha relazionato sul lungo e faticoso cammino - ancora in corso - degli Eurocodici.

A questo proposito, e con riferimento alle strutture di fondazione, il portoghese A. Pinto ha discusso della corretta quantificazione dei coefficienti di sicurezza parziali. Passando in rassegna quanto suggerito da diversi codici nazionali e dallo stesso Eurocodice EC7, Pinto osserva come i valori dei fattori di carico comunemente adottati per il calcolo strutturale siano sensibilmente diversi da quanto sinora proposto per la progettazione geotecnica. Egli conclude

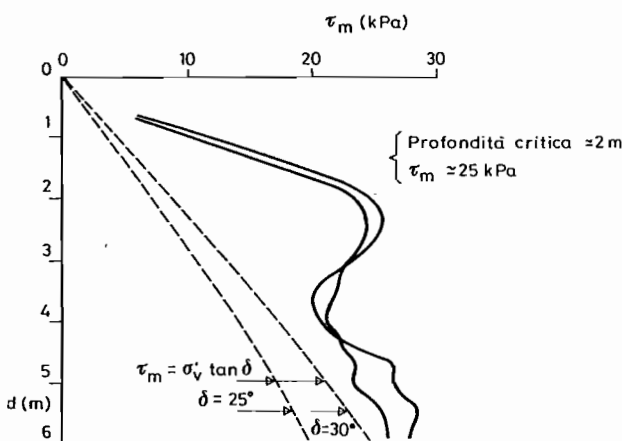


Fig. 3 - Andamenti dello sforzo di taglio medio lungo il fusto ricavati al procedere dell'infissione di due pali strumentati in sabbia (tratto continuo), posti a confronto con andamenti teorici (a tratteggio) [LEHANE].

suggerendo che, per analizzare complessivamente la struttura e le sue fondazioni e per assicurarle un margine di sicurezza prossimo a quello fornito dall'approccio tradizionale mediante coefficienti di sicurezza totali, è invece preferibile adottare gli stessi valori dei fattori parziali di carico tanto per le fondazioni quanto per gli elementi strutturali.

Il tema della modellazione fisica, sempre al centro dell'interesse di queste Conferenze [AVERSA, 1990], è stato affrontato da G. Gottardi (Italia) con particolare riguardo alle fondazioni superficiali su sabbia soggette a diverse condizioni di carico. L'Autore ha presentato i risultati di un articolato programma sperimentale condotto presso l'Università di Padova su un nuovo modello fisico di grandi dimensioni, allo scopo di valutare gli effetti dell'interazione tra le varie componenti di carico sulla capacità portante complessiva.

I dati ottenuti da una trentina di prove di carico – tutte realizzate facendo variare il percorso tensionale su substrati di sabbia di elevata densità relativa – sono stati normalizzati rispetto alla componente di carico ultimo verticale e centrato V_{max} e riportati in termini di diagrammi di interazione. Tali diagrammi individuano delle regioni, nello spazio delle componenti di carico applicate, all'interno delle quali si trovano tutte e sole le combinazioni di carico ammissibili. In Fig. 4, per esempio, è riportata la curva interpolatrice dei valori a rottura sul piano delle componenti di carico orizzontale e di momento ribaltante: l'ellisse di figura è in grado di esprimere chiaramente, oltre che semplicemente, l'importanza del verso del-

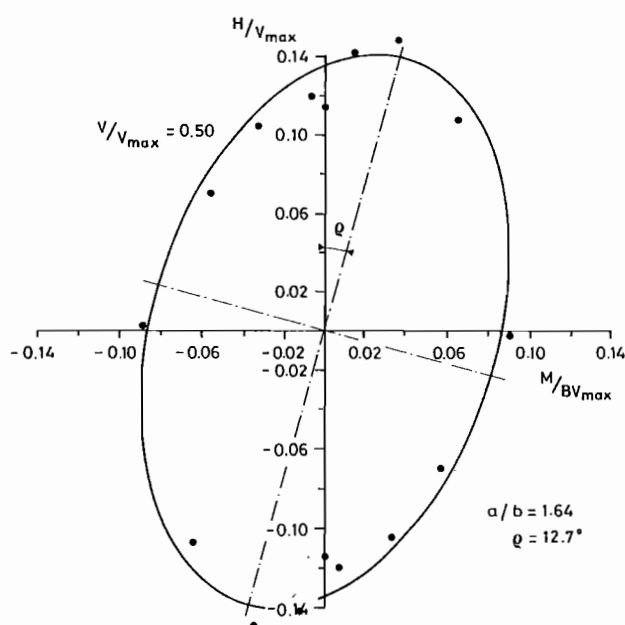


Fig. 4 – Diagramma di interazione tra le componenti di carico orizzontale e di momento ricavato per interpolazione dei dati sperimentali [GOTTARDI].

l'eccentricità in caso di carico esterno anche inclinato, circostanza invece del tutto trascurata dall'approccio tradizionale mediante la nota formula generale di BRINCH-HANSEN [1970].

Il rumeno A. Chirica ha concluso la sessione esaminando i cedimenti anche piuttosto rilevanti subiti da fondazioni superficiali poggianti su terreni macrostrutturati quali i «loess», molto diffusi in Romania. Tali formazioni sono caratterizzate da una porosità molto elevata e non uniforme; in caso di *wetting* la resistenza raggiunta in fase di deposizione viene drasticamente ridotta. Le leggi sforzi-deformazioni di questi terreni vengono esaminate tramite prove triassiali in laboratorio e prove di carico su piastra in sito, mettendo in evidenza il comportamento a rottura per punzonamento delle fondazioni [VESIC, 1973].

3.4. Caratterizzazione dei materiali geotecnici

La sessione che ha ricevuto il maggior numero di contributi è stata quella riguardante la caratterizzazione dei materiali geotecnici, presieduta dal prof. U. Smolczyk, che, unitamente all'ampia discussione che ne è seguita, ha occupato quasi un'intera giornata.

La sessione è stata aperta da I. Haegeman, dell'Università di Ghent (Belgio), che ha illustrato un metodo dinamico abbastanza recente per determinare le caratteristiche di deformabilità del terreno: l'analisi spettrale delle onde di superficie (SASW).

I metodi che utilizzano i principi della propagazione di onde di taglio nel sottosuolo per determinarne le proprietà elastiche [ABBISS, 1981] possono richiedere la perforazione del terreno, ovvero limitarsi alla misura dei profili di velocità delle onde dalla superficie del suolo. A questa seconda categoria appartiene anche il metodo presentato da Haegeman che consiste nella determinazione in sito della curva di dispersione delle onde di superficie, generate da un carico dinamico verticale e rilevate da due ricevitori posti a distanze variabili in funzione della profondità che si intende investigare. Dalla curva di dispersione misurata si può indirettamente risalire, anche per profili fortemente stratificati, alla valutazione dei moduli di rigidezza del terreno a piccolissime deformazioni ($< 10^{-5}$).

Il laboratorio di geotecnica dell'Università di Ghent è attualmente impegnato nello sviluppo di un tale metodo di misura al duplice scopo di applicarlo all'analisi di stabilità delle discariche e di estenderlo all'investigazione *off-shore*.

I. Lepidas (Grecia) ha successivamente presentato un modello numerico agli elementi finiti (Melanie), sviluppato presso il *Laboratoire Central des Ponts*

et Chaussées di Parigi, per lo studio delle caratteristiche di consolidazione e di *creep* di terreni altamente compressibili. Il particolare modello in questione, appartenente alla grande famiglia nata dal Cam-Clay, assume un comportamento trasversalmente isotropo in fase elastica, all'interno della superficie di stato limite, ed un criterio di flusso di tipo non-associato che individua la direzione del vettore incremento di deformazione plastica D_i , lungo la bisettrice dell'angolo indicato in Fig. 5, dove si è riportata anche la normale n_i alla superficie di stato limite; l'incrudimento del terreno è rappresentato da un'espansione isotropa della superficie di snervamento e può essere dovuto anche all'incremento delle deformazioni di *creep*, a livello tensionale costante.

Le previsioni fornite dal modello in due casi di rilevati strumentati (il primo vicino ad Ottawa, Canada, ed il secondo in Francia) si dimostrano in buon accordo con quanto effettivamente misurato, sia in termini di cedimenti che di pressioni interstiziali, mentre una certa differenza può essere riscontrata per quanto riguarda gli spostamenti orizzontali, dovuta alla loro marcata dipendenza dai parametri fisici e meccanici dei diversi strati di terreno. Per mancanza di sufficienti misurazioni, infine, nulla si può concludere circa i dati di consolidazione secondaria.

Lo sviluppo di un modello numerico di consolidazione con deformazioni finite è stato anche l'oggetto dell'intervento di B. Wichman (Olanda). La necessità di ottimizzare la gestione di grandi discariche per il deposito di ingenti quantità di fanghi contaminati e di minimizzarne l'impatto ambientale ha spinto il Ministero dei Trasporti olandese, congiuntamente al laboratorio di Delft (Delft Geotechnics), a mettere a punto un opportuno strumento di calcolo in grado di giungere alla stesura di idonei piani di riempimento.

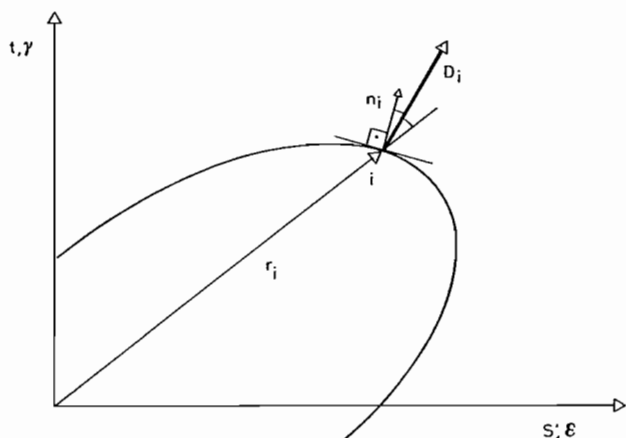


Fig. 5 - Criterio di flusso non-associato del tipo «a bisettrice» per la modellazione del comportamento di terreni altamente compressibili [LEPIDAS].

Oltre alla determinazione mediante prove di laboratorio dei parametri richiesti e all'analisi di sensibilità sui parametri stessi, la ricerca prevede un continuo confronto con le misure effettuate all'interno di una discarica vicino a Rotterdam (Olanda), tuttora in attività, di capacità complessiva progettata pari a 150 milioni di m^3 . Gli ulteriori sviluppi consistono nell'estensione di tale analisi ai terreni che contengono grandi bolle di gas [WHEELER, 1988].

La presenza nelle fredde regioni nordiche di terreni gelati soggetti a consistenti variazioni termiche stagionali pone, nei paesi interessati, delle inusuali problematiche riguardanti una loro caratterizzazione geotecnica esauriente. A. Laitinen (Finlandia) ha infatti illustrato un vasto programma di misurazioni in sito condotto allo scopo di esaminare il comportamento di diverse strutture stradali già realizzate e soggette a svariate condizioni esterne. Tale programma, cominciato nell'autunno del 1991, prevede per alcuni anni la rilevazione costante del contenuto d'acqua, del sollevamento dovuto al ghiaccio, della temperatura e delle deformazioni nei geotessili del sottofondo, contemporaneamente vengono condotte prove di capacità portante e misure del livello di falda. Purtroppo nella nota presentata non sono disponibili che i primissimi dati sui quali è arduo effettuare qualsiasi considerazione.

B. Dolva (Norvegia) ha quindi presentato uno studio, non molto originale per la verità, sull'influenza del percorso tensionale sulla determinazione dei parametri di resistenza al taglio e di pressione dei pori da prove in cella triassiale.

Servendosi di un'apparecchiatura standard modificata, Dolva ha considerato due diversi tipi di argilla omogenea NC prelevati a tre diverse profondità; ogni provino è stato consolidato isotropicamente ed in condizioni K_0 e quindi portato a rottura secondo i 4 percorsi tensionali lineari più comuni [BISHOP e HENKEL, 1962], per un totale di 48 prove triassiali. Sfortunatamente l'Autore non riporta i dettagli numerici della sperimentazione eseguita, ma si limita a sottolineare come i parametri di resistenza al taglio e di pressione dei pori siano risultati sensibilmente dipendenti dalle condizioni di deformazione assiale del provino e dalle sue modalità di consolidazione.

Il danese N. Jensen ha riportato la discussione sulle grandi potenzialità offerte dal metodo agli elementi finiti ed in particolare sul suo impiego per la formulazione di un modello in grado di simulare lo sviluppo e la propagazione delle discontinuità del terreno. È questo un soggetto di grande interesse e complessità, del quale la moderna ricerca geotecnica si sta occupando da una quindicina di anni (cfr. il recente corso su «Strain localisation and failure in geo-

materials» tenuto nel settembre '92 presso il Politecnico di Milano). In particolare Jensen ha illustrato un approccio alternativo sviluppato nel corso del Dottorato di Ricerca e riguardante le modalità di applicazione del carico. Dal confronto con i dati ricavati da una semplice prova di laboratorio, lo stesso Autore osserva che tale modello, pur se promettente, necessita di un ulteriore lavoro di affinamento.

Una rassegna delle principali leggi costitutive generalmente impiegate nello studio del comportamento dei materiali granulari costituenti il sottofondo di pavimentazioni stradali flessibili è stata brevemente fornita dal secondo rappresentante del paese ospitante, V. Ferreira. Successivamente l'Autore si è soffermato sull'illustrazione del modello isotropo ed elastico non-lineare proposto da Boyce [1980] e sviluppato in termini di moduli secanti K e G posti in funzione del livello tensionale e di sole tre costanti caratteristiche del materiale che possono essere agevolmente ricavate da prove triassiali.

Servendosi di un programma agli elementi finiti già predisposto per fare uso del suddetto modello, Ferreira ha quindi preso in considerazione un caso particolare di pavimentazione e ne ha calcolato le massime deformazioni nei diversi strati interessati. Tali risultati vengono infine confrontati con quelli forniti dai comuni metodi elastici multi-strato ove i coefficienti caratteristici di ogni strato vengono però iterativamente aggiornati al crescere del livello tensionale. Il metodo agli elementi finiti, che consente di attribuire diversi parametri di rigidità all'interno di uno stesso materiale, fornisce in generale valori più cautelativi. Solo dopo un confronto con i dati provenienti da pavimentazioni in scala reale, però, si potranno trarre delle conclusioni circa la validità e la precisione delle diverse metodologie considerate.

La sessione si è conclusa con la nota di C. Erbrich (Gran Bretagna) che ha presentato un'analisi per la determinazione del potenziale di liquefazione nei terreni sottostanti il Conwy tunnel, nel Galles setten-

trionale. Una sezione trasversale tipica del tunnel – attualmente in fase di completamento – è rappresentata in Fig. 6: la struttura in calcestruzzo, collocata all'interno di uno scavo, poggia su uno strato di sabbia di densità relativa pari al 40%. Proprio tale strato è l'oggetto dello studio sulla sovrappressione dei pori che si genera in seguito all'applicazione di carichi dinamici per attività sismica.

Secondo il modello di terreno adottato [MARTIN et al., 1975], lo sviluppo di sovrappressioni interstiziali in condizioni non drenate dipende dal modulo elastico in fase di scarico, dall'ampiezza delle deformazioni cicliche di taglio e da quattro costanti sperimentali che si possono derivare da prove cicliche di taglio semplice condotte a volume costante. Mediante tale analisi ed in conseguenza del terremoto di progetto, Erbrich ottiene come massima pressione dei pori risultante un valore pari a 8.4 kPa, equivalente ad uno spostamento verticale permanente – lungo la linea centrale del tunnel – inferiore al millimetro.

3.5. Filtrazione

La sessione tecnica riguardante il controllo della filtrazione, presieduta dal prof. N.K. Ovesen, ha visto la presentazione di due note soltanto.

La prima, concernente le prestazioni a lungo termine di rivestimenti impermeabilizzanti costituiti da miscele di terreno e cemento, è stata illustrata dal bulgaro D. Karastanev. In Bulgaria, dove terreni irrigui molto compressibili ed altamente permeabili quali i «loess», sono piuttosto diffusi, si è infatti da tempo preferito tale miscela al calcestruzzo per impermeabilizzare il fondo dei bacini artificiali: l'area totale dei rivestimenti già costruiti supera attualmente i 160000 m². La verifica del comportamento nel tempo di tali manufatti è dunque un aspetto da tener sempre presente.

La ricerca ha tenuto sotto stretta osservazione i

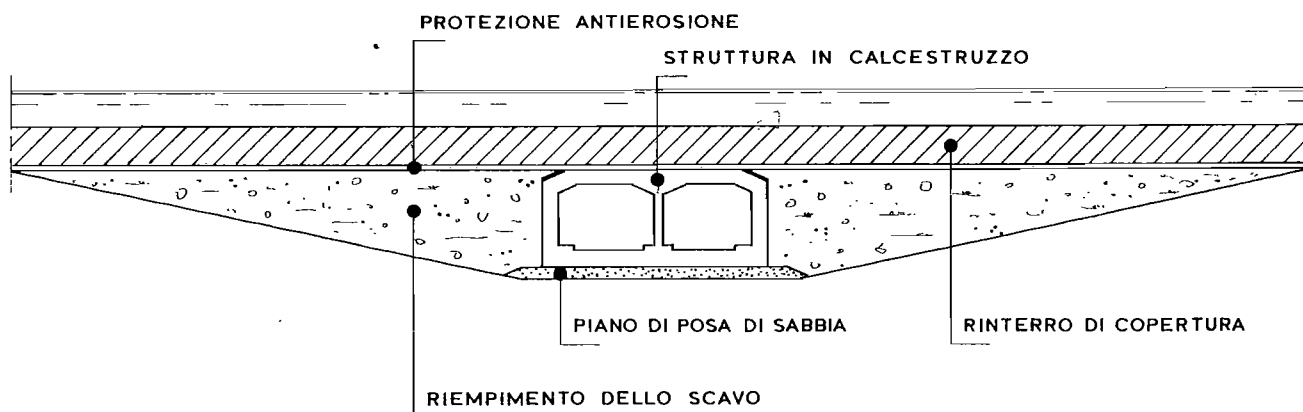


Fig. 6 – Sezione trasversale tipica del Conwy tunnel, per il quale è stata effettuata un'analisi del potenziale di liquefazione della sabbia costituente il piano di posa [ERBRICH].

principali parametri (peso di volume totale e secco, coefficiente di permeabilità e resistenza alla compressione semplice) caratterizzanti 6 diversi rivestimenti subito dopo il termine della costruzione e nel corso di un periodo successivo variabile dai 6 ai 21 anni. Dall'analisi dei dati risulta che, qualora gli accorgimenti costruttivi vengano scrupolosamente osservati (ed in particolare quelli riguardanti il grado di compattazione ed il contenuto d'acqua iniziali), le proprietà fisiche e meccaniche tendono a crescere considerevolmente nel tempo grazie alle modifiche microstrutturali indotte dal cemento. Karastanev conclude indicando i vantaggi di un tale rivestimento, soprattutto in presenza di terreni tipo «loess», sia con riferimento alle caratteristiche di resistenza, permeabilità e flessibilità che in termini economici.

Il secondo ed ultimo contributo della sessione, presentato da E. Perau (Germania), tratta del calcolo della superficie libera in problemi di filtrazione 2D e 3D in condizioni stazionarie usando il metodo agli elementi finiti. Com'è noto, il volume di terreno interessato dal moto di filtrazione non è conosciuto a priori ma è contenuto nella soluzione stessa del problema. L'Autore, seguendo i suggerimenti di BATHE e KHOSHGOFTAAR [1979], propone di generare una *mesh* iniziale che comprenda sicuramente tutto il campo di filtrazione, con condizioni al contorno ovviamente non realistiche. Mediante un controllo sul valore del potenziale che deve uguagliare il carico di posizione e riducendo a zero la permeabilità degli elementi che si trovano al di sopra della suddetta condizione, dopo alcune iterazioni si giunge ad individuare con buona approssimazione la posizione della superficie libera. Ne risulta una procedura semplificata del metodo proposto da Bathe e Khoshgofaar che, secondo Perau, può essere facilmente inserita in tutti i programmi agli elementi finiti che facciano uso solamente di elementi lineari. L'efficacia di tale soluzione è sinteticamente illustrata in un caso bidimensionale molto semplice.

3.6. Rilevati, dighe e pendii

La sessione, presieduta dall'ing. E. Maranha das Neves, ha raggruppato sei comunicazioni.

L'intervento di D. Russel (Gran Bretagna) ha riguardato il progetto di rilevati su argille molli. In questo caso durante la costruzione può verificarsi la rottura per carico limite in condizioni non drenate; pertanto si fa generalmente ricorso alla costruzione dell'opera per strati successivi ed alla realizzazione di dreni in sabbia, in modo da accelerare la consolidazione. In ogni caso rimane di difficile determinazione l'aumento della coesione non drenata conseguente alla variazione dello stato tensionale nel sot-

tosuolo (per effetto del carico dovuto alla costruzione di ciascun livello del rilevato e della successiva consolidazione); ciò rende incerte le necessarie verifiche di stabilità. Per una attendibile valutazione della coesione non drenata è necessario siano noti: 1) lo stato tensionale nel sottosuolo prima dell'inizio della costruzione del manufatto, 2) l'incremento di tensioni dovuto alla costruzione del rilevato, 3) la dissipazione della pressione interstiziale nel corso della consolidazione (controllata attraverso misure piezometriche), 4) una relazione fra resistenza non drenata e tensioni effettive.

In un primo momento l'Autore ha risolto il problema in maniera disaccoppiata: il sottosuolo è stato schematizzato come mezzo elastico lineare omogeneo ed isotropo e gli incrementi di tensione sono stati previsti con le note soluzioni disponibili in forma chiusa, assoggettando il semispazio ai carichi del costruendo rilevato. Quindi è stata utilizzata la teoria della consolidazione radiale (per la presenza dei dreni) per analizzare l'aumento nel tempo delle tensioni effettive ed è stato ipotizzato che la coesione non drenata rimanesse costante al di sotto della pressione di preconsolidazione, qualsiasi fosse la variazione dello stato tensionale, e che aumentasse linearmente con la tensione verticale effettiva nel campo della normale consolidazione. In questo modo il problema risulta notevolmente semplificato non essendovi alcun riferimento alle tensioni principali, la cui direzione ruota durante il processo di carico. Infine, usando i metodi dell'equilibrio limite è stato eseguito lo studio della stabilità, portando in conto la distribuzione di tensioni e la resistenza corrente.

Il problema è stato risolto anche per via numerica (FEM, sottosuolo modellato col Cam-Clay modificato, Fig. 7) ottenendo risultati sicuramente comparabili con quelli della prima procedura.

S. Bretelle (Francia) ha presentato un programma di calcolo per la stabilità dei pendii, in cui sono implementati alcuni metodi dell'equilibrio limite, anche per l'analisi lungo superfici non circolari. È prevista la possibilità di tener conto di eventuali interventi di stabilizzazione (ancoraggi, chiodature, rinforzo...) e di far ricorso a coefficienti di sicurezza parziali (per la resistenza dei vari materiali in gioco e quella delle interfacce). L'algoritmo è basato sul metodo degli stati limite.

I risultati di una ricerca decennale sulla stabilità di un centro abitato (Bisaccia) dell'Appennino Italiano Meridionale, colpito dal sisma del 23 novembre 1980, sono stati presentati da G. Urciuoli (Italia). Da quella data il colle, costituito da una placca di conglomerati fratturati poggianti su una potente formazione di argille varicolori di alta plasticità e poco permeabili, ha accusato forti cedimenti che ad

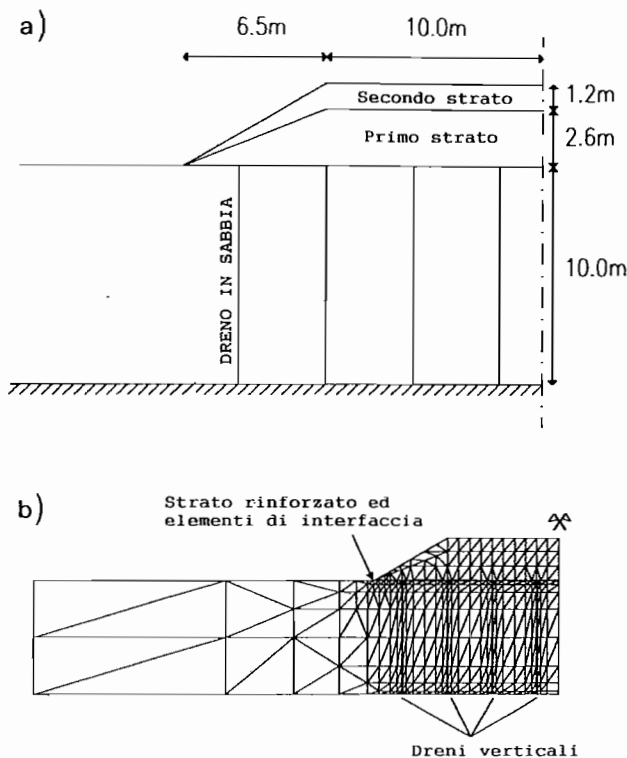


Fig. 7 - a) Schema relativo alla costruzione per strati di un rilevato fondato su argille molli; b) modellazione FEM [RUSSEL].

otto anni dal sisma (ultima misura) erano ancora in corso. Il fenomeno è probabilmente connesso ad un regime di sovrappressioni neutre indotte al di sotto dell'abitato dai carichi ciclici ed alla loro conseguente dissipazione nel tempo. La stabilità globale del colle risulta dal calcolo estremamente precaria; addirittura le superfici di scorrimento più profonde risulterebbero avere coefficiente di sicurezza sensibilmente minore dell'unità se non si tenesse conto del regime di pressioni neutre, fortemente depresso rispetto all'idrostatica, agente nei valloni che delimitano il colle. Esso è stato misurato in quattro punti con celle piezometriche a corda vibrante installate fino alla profondità di 60 m dal piano campagna e sembra essere conseguenza della particolare evoluzione morfologica del sito: i valloni si sono formati per un processo di erosione tanto rapido (ed ancora attivo) da impedire l'egualizzazione delle pressioni interstiziali, che risultano oggi fortemente depresse rispetto all'idrostatica. Il fenomeno è stato simulato con un calcolo FEM i cui risultati sono in buon accordo con le misure.

R. Tonnejck (Olanda) ha riferito di un ampio programma di ricerca inteso a definire nuovi criteri di progettazione degli argini fluviali, che in Olanda hanno un'importanza strategica. Infatti il livello d'acqua nei fiumi, nella parte finale del loro corso, può essere superiore alla quota del territorio circostante, essendo questa regolata dal livello del mare, le cui acque sono contenute da dune naturali, presenti

lungo la costa. In passato le sponde venivano spesso costruite con dimensioni notevoli perché fosse soddisfatta la verifica di stabilità (modesta pendenza delle scarpate) e fossero scongiurati disastri, dovuti oltre che all'instabilità della scarpata, al sifonamento e all'erosione sotterranea al di sotto dell'opera.

D'altro canto la grande dimensione di tali manufatti comporta altri tipi di problemi, come sensibili cedimenti dell'opera stessa (e delle strade che solitamente corrono in cresta), lunghi tempi di consolidazione dei terreni di fondazione, notevoli costi di costruzione, depauperamento dell'ambiente.

Il programma di ricerca ha consentito di ottimizzare la forma delle sponde fluviali, dotandole di berme laterali esterne (Fig. 8), che danno un importante contributo alla stabilità della scarpata. Prolungando al di sotto della berma lo strato di argilla di cui è costituita la sponda si riesce ad allungare il percorso dell'acqua (fra bacino e recapito a valle dell'opera) ed evitare problemi di sifonamento ed erosione sotterranea. Nella nota è riportato un nuovo criterio di progetto delle opere nei riguardi del sifonamento e dell'erosione sotterranea, alternativo a quello di Bligh e Lane (che risulta troppo cautelativo). Tale criterio è di natura sperimentale ed è basato su prove condotte su prototipo.

L'intervento di T. Stoutjesdjk (Olanda) ha riguardato la modellazione e la previsione di colate rapide di sabbia su pendii immersi, come potrebbero essere gli argini di un fiume. L'approccio al problema parte dallo studio del materiale, attraverso opportune prove di laboratorio. Quindi attraverso un'analisi agli elementi finiti viene studiata la distribuzione di tensioni nel pendio, in regime di deformazione piana; ed elaborato un modello in cui considerando la geometria, la densità e le proprietà meccaniche della sabbia, è possibile fare una previsione sulla probabilità che l'evento accada.

I risultati di una ricerca sul comportamento meccanico dei terreni rinforzati con geosintetici e sul metodo di verifica delle costruzioni in terra realizzate con tali materiali sono stati oggetto della comunicazione di S. Manea (Romania). A questo proposito il terreno rinforzato è riguardato come un mezzo

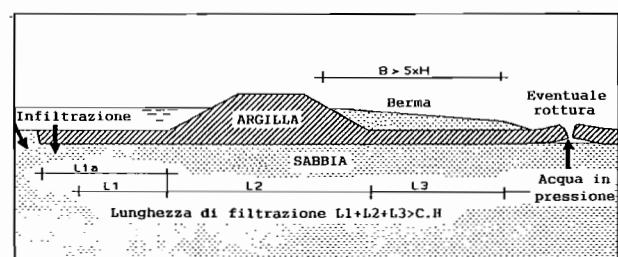


Fig. 8 - Geometria di una sponda fluviale rinforzata con berma laterale esterna [TONNEJCK].

omogeneo, con caratteristiche meccaniche equivalenti; il terreno viene caratterizzato con prove di laboratorio convenzionali (taglio diretto o compressione triassiale) ed il rinforzo con prove di trazione. È supposta una progressiva, ma differenziata mobilitazione della resistenza nei due componenti, nell'ipotesi che non vi siano scorrimenti relativi fra i due materiali e che quindi la deformazione sia la stessa (ipotesi finora non supportata da evidenza sperimentale). In questo modo vengono ricavate le caratteristiche meccaniche equivalenti della terra rinforzata, in cui il contributo del geosintetico è schematizzato come un incremento di coesione. Ovviamente questo principio consente un'apprezzabile semplificazione dei calcoli dei manufatti realizzati in terra rinforzata, consentendo l'uso dei metodi classici dell'equilibrio limite per lo studio della stabilità dei manufatti o dei pendii. Infine è riportata un'applicazione relativa alla stabilità di un pendio.

BLENCO DELLE COMUNICAZIONI

- AKOS M. - *The unfavourable influence of tunnelling on the constructions, the measurement and prognosticating of the deformations.*
- BERNAUD D. - *Tunnel design at great depth: experimental and numerical approaches.*
- BOZHINOVA A. - *Influence of the deformation characteristics of the Pliocene clays and sands upon the construction of Sofia Underground.*
- BRETELLE S. - *The Talren Program for stability analysis of reinforced soil walls and slopes.*
- CHIRICA A. - *Some aspects concerning the settlement of shallow foundations on macroaggregated contractant soils.*
- DOLVA B. - *Determination of shear strength and pore pressure parameters in marine clay-silty clay by different total stress and deformation models.*
- ERBRICK C. - *An investigation into potential liquefaction beneath the Conwy tunnel due to seismic activity.*
- FELD T. - *Centrifugal model investigation of pile group efficiencies in sand.*
- FERREIRA T. - *Constitutive laws for granular materials in structural analysis of flexible pavements.*
- GILLES P. - *Determination of pile bearing capacity by dynamic pile testing.*
- GOTTARDI G. - *Interaction diagrams for surface footings on sand under general planar loads.*
- HAEGEMAN I.W. - *In situ characterisation of liquefaction and deformation behaviour of soils by spectral analysis of surface waves.*
- JENSEN N.J.W. - *Finite elements and discontinuities in soil.*
- KARASTANEV D. - *Long-term performance soil-cement screens of water basins.*
- KIELBASSA S., GLABISH U. - *A finite element model for excavation of underground openings in water saturated ground.*
- LAITINEN A. - *Field measurements in the gravel based test roads.*
- LEHANE B. - *The behaviour of an instrumented displacement pile in sand.*
- LEPIDALS I. - *Creep and consolidation of soft soils. Numerical analysis.*
- LEIBL W. - *Improving safety and serviceability in geotechnical structures. Saving an old monastery from collapse.*
- MANEA S. - *The concept of soil homogenization applied to the design and testing of earthworks reinforced with geosynthetic materials.*
- PERAU E.W. - *Calculation of the free surface of two or three-dimensional ground-water flow.*
- PETERSON E. - *Deep compaction with the vibro-wing method-measurements and observations.*
- PINTO A. - *Quantification of load partial safety factors values.*
- ROTONDA T. - *Rock foundation deformability of a gravity dam.*
- RUSSEL D. - *Multi-stage embankment construction.*
- SOUTJESDIK T. - *Modelling of flow slides in theory and practice.*
- TONNEBUCK M.R. - *Berms at the inland side of river dikes.*
- URCIUOLI G. - *Stability problems in Bisaccia town.*
- WESTHAUS T. - *Possibilities and limitations of a numerical approach to the design and structural safety of rock salt mines.*
- WICHMAN B., GREEUW G., THORNBORG B., VINK D. - *Development of finite strain consolidation model for optimising large disposal sites for contaminated slurries.*

BIBLIOGRAFIA

- ABBISS C.P. (1981) - *Shear wave measurements of the elasticity of the ground.* Géotechnique, vol. XXXI, pp. 91-104.
- AVERSA S. (1990) - *Il terzo Convegno Europeo dei giovani ingegneri geotecnici « YGEC '89 ».* RIG., vol. XXIV, n. 3, pp. 127-138.
- BATHE K.J., KHOSHGOFTAAR M.R. (1979) - *Finite element free surface seepage analysis without mesh iteration.* Int. Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, vol. III, pp. 13-22.
- BISHOP A.W., HENKEL D.J. (1962) - *The measurement of soil properties in the triaxial test.* Edward Arnold, London.
- BOYCE H.R. (1980) - *A non-linear model for the elastic behaviour of granular materials under repeated loading.* Proc. Int. Symp. on Soils under Cyclic and Transient Loading, Swansea, pp. 285-294.
- BRINCH-HANSEN J. (1970) - *A revised and extended formula for bearing capacity.* The Danish Geotechnical Institute, bull. n. 98, Copenhagen, pp. 5-11.
- MARTIN G.R., LIAM FINN W.D., BOLTON SEED H. (1975) - *Fundamentals of liquefaction under cyclic loading.* Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, vol. CI, n. GT5, pp. 423-438.
- VESIC A.S. (1973) - *Analysis of ultimate loads of shallow foundations.* Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, vol. IC, SM1, pp. 45-73.
- WHEELER S.J. (1988) - *A conceptual model for soils containing large gas bubbles.* Géotechnique, vol. XXXVIII, pp. 230-247.

SUMMARY

The sixth European Geotechnical Engineers Conference on « Improving safety and serviceability of geotechnical structures » took place in Lisbon (Portugal) from 4 to 8 May 1992. The Conference was hosted by the *Laboratorio Nacional de Engenharia Civil (LNEC)* and Dr. E. Maranha das Neves, Chief of the Geotechnical Department, was the chairman. Thirty young engineers from 17 European countries, some of them from East Europe, attended the Conference.

Six technical sessions on specific themes were included:

1. Excavations, tunnels and retaining structures;
2. Deep foundations and ground treatment;
3. Spread foundations;
4. Characterization of geotechnical materials;
5. Seepage control;
6. Embankment, dams and slopes.

Each session, chaired by senior geotechnical engineers, included the presentation of the papers followed by a wide discussion.

The Organizing Committee did not neglect to organize technical tours (to a subsea tunnel near Lisbon and to the restructuring works of a Roman bridge in Algarve) as well as social activities.

In this paper all the contributions presented at the Conference are briefly summarized.